

3) уменьшение потерь теплоносителя, обусловленное водонепроницаемостью системы.

#### Список использованных источников

1. Ливчак В. И Совершенствование систем централизованного теплоснабжения крупных городов России // АВОК. 2004. № 5 [Электронный ресурс] URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2530](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2530). (дата обращения 22.11.2016).

2. Корпусова Н. С. Расчет основных показателей деятельности промышленного предприятия: методические указания по дисциплине «Экономика предприятий энергетического комплекса». Тюмень : ТюмГАСА, 2003. 29 с.

3. Повышение надежности и эффективности системы теплоснабжения в Западной Сибири / В. П. Богомолов, Б. В. Моисеев, В. М. Чикишев, А. Ф. Шаповал. М. : Недра, 1999. 175 с.

УДК 621.3

### **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ С АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ НАСОСА**

### **EVALUATION OF ECONOMIC EFFECT OF USE OF A FREQUENCY CONVERTER WITH THE ADAPTIVE VOLTAGE CONTROL IN A PUMP ELECTRIC DRIVE**

Аскеров Д. Р., Ошурбеков С. Х., Казакбаев В. М.  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, [dima.net.94@mail.ru](mailto:dima.net.94@mail.ru)

Askerov D. R., Oshurbekov S. H., Kazakbaev V. M.  
Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** В работе проведен сравнительный анализ энергопотребления электропривода насосного агрегата, с использованием адаптивной системы регулирования напряжения и без нее. Сделаны выводы относительно целесообразности применения данной системы регулирования в целевом приложении.

**Abstract:** The comparative analysis of power consumption of a pump unit with adaptive voltage control and without it is presented. The issues include the feasibility evaluation of application of the control in the considered application.

**Ключевые слова:** энергоэффективность; асинхронный двигатель; регулируемый электропривод.

**Key words:** efficient energy use; induction motor; variable speed drive.

В настоящее время частотно-регулируемые (ЧР) электроприводы (ЭП) с асинхронным двигателем (АД) находят все большее применение в промышленности: насосы, компрессоры и вентиляторы и др. ЭП с ЧР позволяют увеличить технологические характеристики, ресурс двигателя, а также снизить энергопотребление.

Энергоэффективность работы АД при ЧР во многом зависит от выбора закона регулирования напряжения. В большинстве случаев при регулировании скорости (частоты) применяются скалярное управление и закон регулирования Костенко [1-3]:

$$U/f = \text{const} , \quad (1)$$

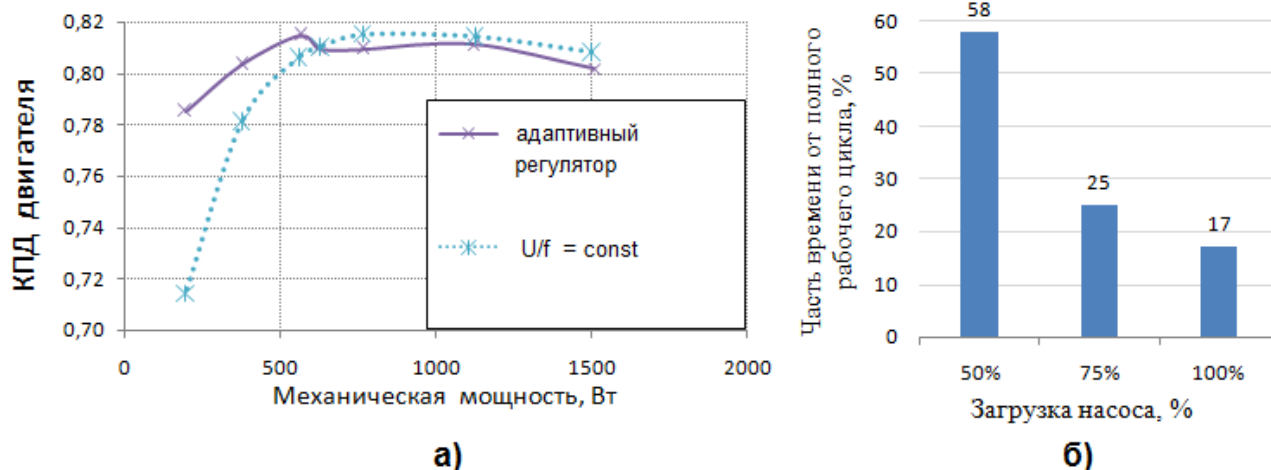
где  $U$  – напряжение, В;  $f$  – частота, Гц.

Данный способ регулирования позволяет получить энергетические свойства АД, близкие к максимальным, при постоянстве момента нагрузки  $T$  при изменении скорости вращения  $n$ . В то же время, на практике функция нагрузки  $T(n)$  чаще всего точно не известна (при насосной нагрузке  $T \approx k \cdot n^2$ ). Кроме того зависимость  $T(n)$  может изменяться со временем ввиду большого количества факторов [1, 2]. Для устранения данного недостатка рядом производителей ЭП был предложен принцип адаптивной системы регулирования напряжения: привод подбирает величину  $U$ , соответствующую наибольшему КПД [1]. При несомненных преимуществах, такой ЭП имеет существенно большую стоимость в сравнении с ЭП, осуществляющим регулирование без обратных связей по закону (1).

В данной работе приводится оценка экономической целесообразности применения ЭП с адаптивной системой регулирования напряжения. При оценке использовались следующие данные. Рабочие и энергетические характеристики элементов ЭП: параметры АД (АИР 80А2 УЗ 1,5 кВт, 2880 об/мин), ПЧ (Danfoss VLT AQUA Drive FC 202); средняя цена электроэнергии в РФ на 2015 год (2,9 руб./кВт·ч) [4]. Рисунок (а) показывает экспериментальные зависимости КПД АД при работе от FC 202: при  $U/f$  регулировании и с адаптивным регулятором. Объектом внедрения адаптивной системы регулирования напряжения является промышленный насосный агрегат. Для расчета был принят типовой график загрузки промышленного насоса по расходу жидкости  $Q$  (рисунок, б) [3]. Для расчета нагрузки  $P_2$  на валу двигателя было принято, что  $P_2 = 100 \%$  при  $Q = 100 \%$ . При частичном расходе  $Q \sim n$ ;  $T \sim n^2$ , на основании формул пересчета насосной нагрузки [3]. Энергопотребление насосной установки за полный рабочий цикл определяется:

$$W_{\text{day}} = \sum (P_i \cdot h), \quad (2)$$

где  $P_i$  – потребляемая ЭП мощность, Вт;  $h$  – количество часов работы при мощности  $P_i$ , ч.



**а)** Экспериментальные зависимости  
а) Измеренный КПД АД при работе с  $T \sim n^2$ , б) Типичная загрузка  
промышленного насоса в течение рабочего дня

Суммарная экономия электроэнергии за данный интервал работы насосной установки (за сутки):

$$\Delta W_{\text{day}} = W_{\text{day}_{\text{ЭП1}}} - W_{\text{day}_{\text{ЭП2}}}, \quad (3)$$

где  $W_{\text{day}_{\text{ЭП1}}}$  – потребляемая электроэнергия ЭП без адаптивной системы регулирования напряжения, кВт·ч;  $W_{\text{day}_{\text{ЭП2}}}$  – потребляемая электроэнергия ЭП с адаптивной системой регулирования напряжения, кВт·ч.

При круглогодичной работе насосной установки стоимость сэкономленной энергии определяется:

$$COST_{\text{year}} = \Delta W_{\text{day}} \cdot PRICE \cdot 365, \quad (4)$$

где  $PRICE$  – стоимость кВт·ч, руб.

Результаты расчета экономического эффекта от установки адаптивной системы регулирования напряжения приведены в таблице.

Рассчитанный срок окупаемости решения ЭП с адаптивным модулем составляет почти 14 лет. Для достижения приемлемого показателя рентабельности (3 года) стоимость электроэнергии должна составлять 13,4 руб./кВт·ч, что примерно соответствует текущей цене в странах ЕС (Италия, Германия) [5]. Стоит отметить, что ЭП с адаптивной системой регулирования напряжения, предназначенные для работы в насосном приложении, как правило, имеют также другие дополнительные функции: предотвращение риска возникновения гидравлических ударов; сигнализация о падении давления в трубопроводе и др. [3]. Данные функции востребованы на наиболее ответственных участках водоснабжения с мощными взаимно резервируемыми

насосными установками, где необходима бесперебойность снабжения с высоким уровнем защиты и автоматизации.

#### Результаты расчета

№	Наименование параметра	Значение параметра
1	Действующая цена на электроэнергию, <i>PRICE</i> [руб./кВт·ч]	2,9
2	Суточное потребление ЭП при работе с $U/f = \text{const}$ , [кВт·ч]	17,05
3	Суточное потребление ЭП с адаптивным регулятором, [кВт·ч]	16,38
2	Суточная экономия электроэнергии, $W_{day}$ [кВт·ч (%)]	0,67 (3,93%)
3	Стоимость сэкономленной электроэнергии в год, $COST_{year}$ [руб.]	720
4	Разница в стоимости ПЧ с адаптивной системой регулирования и базового ПЧ, $\Delta PR$ [руб.]	10010
5	Срок окупаемости решения, $T_{payback}$ [лет]	13,9

Можно заключить, что применение специализированных насосных ЭП, по типу рассмотренного в работе, в условиях РФ в настоящее время не оправдано с точки зрения показателей энергосбережения. Однако оно может быть востребовано, с учетом других специальных функций на ответственных участках, в приводах большой мощности, либо по мере дальнейшего роста цен на электроэнергию.

#### Список использованных источников

1. Fonstad K. Automatic Energy Optimization // Danfoss: technical overview, 1998. Р. 1-4.
2. Шрейнер, Р. Т. Оптимальное частотное управление асинхронными электроприводами / Р. Т. Шрейнер, Ю. А. Дмитренко. Кишинев: Штиинца, 1982. 224 с.
3. Лезонов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок / Б. С. Лезонов. М. : Машиностроение, 2013. 176 с.
4. Электроэнергетика: тенденции и прогнозы: аналитический бюллетень. М. : РИА Рейтинг, 2016. Вып. 16.
5. Eurostat: Your key to European statistics [Электронный ресурс]. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat> (дата обращения 23.11.2016).